

prof. dr hab. Jan Muszalski  
Sieć badawcza Łukasiewicz  
- Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki  
Al. Lotników 32/46  
02-668 Warszawa

## RECENZJA

dorobku naukowego dr inż. Mieczysława Pietrzyka  
przedłożonego w postępowaniu habilitacyjnym

### 1. Wstęp

Przedłożony do oceny dorobek naukowy dr inż. Mieczysława Pietrzyka to cykl powiązanych tematycznie artykułów opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych, noszący tytuł „Studnie kwantowe ZnO w nanostłupkach i strukturach planarnych Zn(Mg,Cd)O otrzymywane na wybranych podłożach”. Dodatkowo ociążnienia to zostało szczegółowo opisane w autoreferacie, w którym zostały również zamieszczone informacje dotyczące pozostałej aktywności zawodowej habilitanta.

Na osiągnięcie naukowe składa się cykl 10 publikacji ponumerowanych kolejno od H1 do H10:

[H1] M.A. Pietrzyk, M. Stachowicz, A. Wierzbicka, P. Dłuzewski, D. Jarosz, E. Przeddziecka A. Kozanecki, *Growth conditions and structural properties of ZnMgO nanocolumns on Si(111)*, J. Cryst. Growth 408 (2014) 102-106

[H2] M.A. Pietrzyk, M. Stachowicz, A. Reszka, A. Kozanecki, *Optical investigations of ZnO/ZnMgO quantum wells in self-assembled ZnMgO nanocolumns grown on Si (111) by MBE*, J. Lumin. 179 (2016) 610-615

[H3] M.A. Pietrzyk, M. Stachowicz, D. Jarosz, R. Minikayev, M. Zielinski, P. Dłuzewski, A. Kozanecki, *Properties of ZnO/ZnMgO nanostructures grown on r-plane Al2O3 substrates by molecular beam epitaxy*, J. Alloys Compd. 650 256-261 (2015)

[H4] M.A. Pietrzyk, M. Stachowicz, A. Wierzbicka, A. Reszka, E. Przeddziecka, A. Kozanecki, *Properties of ZnO single quantum wells in ZnMgO nanocolumns grown on Si (111)*, Opt. Mater. 42 406-410 (2015)

[H5] M. A. Pietrzyk, M. Stachowicz, P. Dłuzewski, A. Wierzbicka, A. Kozanecki, *Self-organized ZnMgO nanocolumns with ZnO/ZnMgO quantum wells on c-plane Al2O3 substrates by MBE: growth conditions and properties*, J. Alloys Compd. 737, 748-751 (2018)

[H6] M.A. Pietrzyk, A. Wierzbicka, M. Stachowicz, D. Jarosz, A. Kozanecki, *Fabrication and characterization of ZnMgO nanowalls on 4H-SiC by MBE method*, J. Appl. Crystallogr. 52, 168-170 (2019)

[H7] M.A. Pietrzyk, A. Wierzbicka, E. Zielony, A. Pieniazek, R. Szymon, E. Placzek-Popko, *Fundamental studies of ZnO nanowires with ZnCdO/ZnO multiple quantum wells grown for tunable light emitters*, Sensor. Actuator. A- Phys. 315, 112305 (2020)

[H8] M.A. Pietrzyk, E. Płaczek-Popko, K.M. Paradowska, E. Zielony, M. Stachowicz, A. Reszka, A. Kozanecki, *Optoelectronic properties of ZnO/ZnMgO multiple quantum wells in ZnMgO nanocolumns grown on Si (111)*, J. Alloys Compd. 717, 41-47 (2017)

[H9] M. Stachowicz, M.A. Pietrzyk, J.M. Sajkowski, E. Przeddziecka, H. Teisseyre, B. Witkowski, E. Alves, A. Kozanecki, *Asymmetric ZnO/ZnMgO double quantum well structures grown on m-plane ZnO substrates by MBE*, J. Lumin. 186, 262-267 (2017)

[H10] J. Andrzejewski, M. A. Pietrzyk, D. Jarosz, A. Kozanecki, *Optical measurements and theoretical modelling of excitons in double ZnO/ZnMgO quantum wells in an internal electric field*, Materials, 14, 7222 (2021).

Wszystkie przedłożone prace raportują badania eksperymentalne przeprowadzone przez dr inż. Mieczysława Pietrzyka mechanizmów wzrostu epitaksjalnego i właściwości fizycznych warstw, struktur i nanodrutów /nanokolumn ZnCdO /ZnO, ZnO/ZnMgO na podłożach krzemowych, szafirowych, z węgla krzemu, i rodzimych ZnO i wybranych orientacjach krystalograficznych. Były to badania eksperymentalne zjawisk i właściwości fizycznych uprawniają one zatem do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Do wszystkich publikacji dołączone zostały oświadczenia współautorów i oświadczenie dr inż. Mieczysława Pietrzyka wskazujące jednoznacznie na jego udział i wkład w ich powstanie.

## **2. Informacje ogólne o habilitancie**

Dr inż. Mieczysław Pietrzyk ukończył studia na Wydziale Matematyczno-Fizycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Praca magisterska pt. „Elektryczne i akustyczne badanie dwuwarstwowych struktur sensorowych” napisana pod kierunkiem prof. dr. hab. Mariana Urbańczyka dotyczyła wykorzystania powierzchniowych fal akustycznych dla celów sensorycznych. W przedłożonych materiałach habilitant nie podaje roku ukończenia studiów. W roku 2005 ukazała się jednak praca (Sensor. Actuator. B-Chem, 105, 340-345 (2005)) częściowo raportująca wyniki otrzymane przez habilitanta w ramach badań prowadzonych na Politechnice w Gliwicach. W latach 2005-09 habilitant był doktorantem w Instytucie Fizyki PAN. W roku 2010 obronił pracę doktorską pt. „Wkład otwartych powłok 3d i 4f do struktury elektronowej wybranych półprzewodników IV-VI z Mn, Gd i Eu”. Promotorem był doc. dr hab. Bogdan Kowalski. Badania eksperymentalne przedstawione w rozprawie doktorskiej koncentrowały się na rezonansowej spektroskopii fotoemisyjnej półprzewodników GeTe i PbTe domieszkowanych Mn, Eu, Gd. Wyniki eksperymentalne opisane w pracy doktorskiej habilitant otrzymał podczas starzy na synchrotronach w Hamburgu (HASYLAB, Niemcy) oraz w Lund (Max-Lab, Szwecja). W okresie tym mgr inż. Mieczysław Pietrzyk był autorem i współautorem 20 publikacji naukowych.

Po doktoracie habilitant pozostał związany z IF PAN, początkowo był zatrudniony na stanowisku fizyk, a od 2018 na stanowisku adiunkt. W okresie po doktoracie zmienił swoje zainteresowania badawcze. Poświęcił się badaniom mechanizmów wzrostu i właściwości optycznych warstw i struktur kwantowych na bazie ZnO i stopów ZnMgO, ZnGdO. W latach 2014 - 2018 był kierownikiem grantu Narodowego Centrum Nauki Sonata nr. 2013/09/D/ST5/03881 „*Studnie kwantowe ZnO w nanostupkach ZnMgO hodowanych metodą MBE na wybranych podłożach.*” Opublikował 23 prace jako autor i współautor, z których 10 powstałych w latach 2014-2021 przedłożył jako swój dorobek uprawniający o ubieganie się o stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauk fizycznych.

## **3. Ocena dorobku naukowego habilitanta**

### **3a. Ocena cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych.**

Dr inż. Mieczysław Pietrzyk przedłożył do oceny cykl składający się z 10 publikacji naukowych (wymienione powyżej) opublikowanych w uznanych recenzowanych czasopiśmie naukowych o istotnym wpływie na światowe środowisko naukowe:

Journal of Crystal Growth (jedna praca, pierwszy autor),

Journal of Luminescence (dwie prace, raz pierwszy autor raz współautor),

Journal of Alloys Compounds (trzy prace, zawsze pierwszy autor),

Optical Materials (jedna praca, pierwszy autor),

Journal of Applied Crystallography (jedna praca, pierwszy autor),

Sensors and Actuators A- Phys (jedna praca, pierwszy autor),

Materials (jedna praca, współautor).

Wszystkie prace raportują badania mechanizmów wzrostu epitaksjalnego i własności optycznych warstw ZnO i stopów ZnO z MgO i GdO, i ich struktur zarówno plenarnych (jam kwantowych QW) jak i wertykalnych (nanodrutów/nanokolumn) osadzanych na podłożach (Si, Szafir Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO) o różnych orientacjach krystalograficznych. Przeprowadzone badania nad epitaksją i własnościami optycznymi są komplementarne - wyraźnie nakierowane na wytworzenie i zrozumienie własności struktur na bazie ZnO i ich ewentualnego potencjału aplikacyjnego dla współczesnych przyrządów fonicznych. Bez wątplenia stanowią zatem jednotematyczny cykl powiązanych ze sobą artykułów naukowych.

Podjęcie przez habilitanta wskazanej w tytule tematyki badawczej należy uznać za bardzo trafne. Jest ona bardzo ważna zarówno ze względów poznawczych jak i potencjału aplikacyjnego. Wpisuje się w światowy trend poszukiwania nowych materiałów i struktur kwantowych dla emiterów w nowych zakresach spektralnych niedostępnych dla dotychczasowych konstrukcji opartych o poznane dotychczas związki półprzewodnikowe. Szczególne własności ZnO (szeroka przerwa energetyczna, wysoka energia wiązania ekscytonów, bio-kompatybilność) czynią ten związek szczególnie perspektywicznym. Ponadto możliwość wykonywanie heterostruktur ZnO/ZnMgO/ZnCdO pozwala na tworzenie 2D

(dwuwymiarowych) heterostruktur kwantowych, a opanowanie technologii wytwarzania nanodrutów (nanokolumn) pozwala na wytwarzanie struktur o nanometrowych rozmiarach o nowych pożądanych własnościach. Ze względu na złożoność problemów związanych z wytwarzaniem struktur na bazie ZnO przedłożony przez habilitanta dorobek, z oczywistych względów, nie rozwiązuje wszystkich problemów, mierzy się tylko z wybranymi wyzwaniami.

Analiza 10 publikacji wskazuje, że szczegółowym celem prac badawczych habilitanta było wytworzenie jam kwantowych ZnO (ZnGdO) w nanokolumnie wytworzonej ze związków ZnMgO (ZnO). Wymagało to opanowanie technologii epitaksji osadzania warstw (H9, H3), osadzania nanokolumn (H1, H5, H6), i ostatecznie nanokolumn z QW lub wielokrotnymi QW (H2, H3, H5, H7, H8) i ich charakteryzacji strukturalnej i optycznej (H1-H9).

Warstwy i struktury habilitant wykonywał samodzielnie w laboratorium IF PAN. Osadzone metodą epitaksji z wiązek molekularnych (MBE). Również samodzielnie wykonywał pomiary optyczne. Habilitant podjął wyzwanie osadzania nanokolumn w modzie samorosnącym bez katalizatora tzn. wykorzystując mod wzrostu Volmer-Weber na podłożach o silnie niedopasowanych stałych sieci. Niedopasowanie zależy zaś od wybranego podłoża i jego orientacji. Dlatego też, habilitant przeprowadził badania wykorzystując różne podłoża Si (prace: H1, H2, H4, H7, H8), SiC (H6), szafir  $Al_2O_3$  (H3, H5, H10), ZnO (H9). Wpływ niedopasowania stałej sieci pomiędzy podłożem a osadzaną warstwą/nanokolumną był modyfikowany przez habilitanta również poprzez osadzanie warstw buforowych (H3, H5).

Wspomnieć tu należy, że ZnO, ZnMgO, ZnCdO mają strukturę wurcytu tj. wyróżnioną oś c. W konsekwencji parametry optyczne otrzymanych heterostruktur kwantowych zależą od polaryzacji samoistnej i zjawisk piezoelektrycznych. Dlatego też habilitant przeprowadził badania wybierając podłoża o różnej orientacji Si(111) (H1, H2, H4, H7, H8), c- $Al_2O_3$  (H5), r- $Al_2O_3$  (H3), a- $Al_2O_3$  (H10), c-SiC-4H (6), m-ZnO (H9) by mieć wpływ na wartość pola elektrycznego w obrębie jam kwantowych.

Ponadto badał QW ZnO z barierami z ZnMgO (H1-H6 i H8-H9) i QW z ZnCdO z barierami ZnO (H7).

Logiczna prezentacja tak znacznego materiału jest niewątpliwie wyzwaniem. W autoreferacie habilitant swój dorobek naukowy przedstawia explicite jako sumę dwu aktywności. Pierwsza, to wyniki optymalizacji warunków osadzania struktur planarnych oraz nanokolumn na różnych podłożach. Właściwości strukturalne otrzymanych struktur były charakteryzowane przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM), dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego (XRD) mikroskopu sił atomowych (AFM oraz transmisyjnego mikroskopu elektronowego (TEM). W drugiej części autoreferatu habilitant przedstawia wyniki badań optycznych otrzymanych nanostruktur – wyniki pomiarów luminescencyjnych (foto- i katodoluminescencja, zjawiska Ramana) przeprowadzone w różnych temperaturach (11.5-300K).

Podział ten nie wydaje się być słusznym, gdyż już w pierwszej pracy omawianej w autoreferacie (H1), a poświęconej analizie wzrostu nanokolumn ZnMgO na podłożach Si(111) prezentowane są zarówno wyniki charakteryzacji strukturalnej SEM, TEM, X-ray jak również optycznej: widma PL zmierzone w temperaturze 11.5-100K i widma CL zmierzone wzdłuż nanokolumn. W tej (H1) i następujących (H2, H4, H7, H8) publikacjach zarówno charakteryzacja strukturalna jak i optyczna potwierdzają udany wzrost dobrej jakości nanokolumn ZnMgO/Si(111).

Udane procesy osadzania nanokolumn ZnMgO na podłożach Si(111) stanowiły punkt wyjścia do osadzania nanokolumn z jamami kwantowymi ZnO/ZnMgO. Udana realizacja tego zamiaru raportowana jest w pracach H2, H4 i H8. Omówiono w nich pokrótce technologię wzrostu i właściwości optyczne pojedynczych QW i sprzężonych QW (gdy pojedyncze QW były odseparowane 3nm grubości barierą ZnMgO). Dobrą referencją dla pomiarów optycznych QW osadzanych na kierunkach polarnych są wyniki dla asymetrycznych podwójnych QW ZnO/ZnMgO osadzonych na płaszczyźnie m podłoża z ZnO (praca H9). Brak wewnętrznej polaryzacji piezoelektrycznej pozwolił na wyznaczenie energii wiązania ekscytronów w QW i zaobserwowania zjawiska tunelowania nośników z węższej (2nm) jamy do szerszej (5nm) gdy bariera rozdzielająca te jamy jest dostatecznie wąska ( $\leq 7$ nm).

Na podłożach Si(111) habilitant przeprowadził również z wzrostu nanokolumn ZnO z QW z ZnCdO/ZnO (H7). Wymagało to istotnej modyfikacji warunków osadzania ze względu na dużą lotność kadmu. Mimo trudności technologicznych otrzymane struktury charakteryzowały się mierzalną luminescencją z supersieci ZnO/ZnCdO.

Po sukcesach we wzroście na Si(111) dalsze dwie prace raportują wzrost nanokolumn na podłożach szafirowych  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na płaszczyznach  $c$  (H5),  $r$  (H3), i  $a$ (H10). Zmiany orientacji podłoża szafirowego pozwalały wpływać na pola piezoelektryczne w obrębie QW.

Na szafirze o typowej orientacji  $c$  (0001) osadzono z sukcesem nanokolumny po uprzednim osadzeniu bufora  $\text{ZnO/MgO}$  (H5). Habilitant wraz ze współautorami przypuszcza, że rolą bufora była inicjacja procesu nukleacji wzrostu nanokolumn. Wytworzone w nanokolumnach były badane za pomocą PL. Poprzez porównanie emisji z QW  $\text{ZnO/ZnMgO}$  osadzonych na kierunki  $c$  i  $r$  zanalizowano szczegółowo wpływ pól piezoelektrycznych na długość fali emisji QW (H5). Właściwości QW osadzanych na powierzchni  $r\text{-Al}_2\text{O}_3$  (niepolarnej) były przedmiotem szczegółowych badań raportowanych również w pracy H3. W istocie wzrost na podłożu  $r\text{-Al}_2\text{O}_3$  po osadzeniu niskotemperaturowego bufora  $\text{ZnO}$  (innego niż na  $c\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) skutkował warstwami  $a\text{-ZnO/ZnMgO}$ , a w przypadku osadzania w wyższej temperaturze, bez warstwy buforowej nanokolumnami pochylonymi pod kątem  $62^\circ$  względem podłoża. Badania rentgenowskie wykazały, że nanokolumny rosły spontanicznie w kierunku  $a$  (11-20) i  $c$  (0001). Zarówno dla warstw jak i dla nanokolumn zaobserwowano sygnał PL z QW dla podobnej długości fali i niemal identycznej szerokości spektralnej (w 10K).

Szczegółowe badania optyczne (PL) dla podwójnych QW osadzonych na  $a\text{-Al}_2\text{O}_3$  były raportowane w pracy H10. Silny potencjał piezoelektryczny pozwolił habilitantowi na obserwowanie ekscytonów skośnych w podwójnych QW – tzn. takich które mają elektron w jednej QW a dziurę w drugiej QW.

Zaskakująco odmienną morfologię nanostruktur  $\text{ZnMgO}$  raportuje habilitant dla osadzania  $\text{ZnMgO}$  na na płaszczyźnie  $c$  substratu  $\text{SiC-4H}$  (praca H6).  $\text{SiC-4H}$  ma symetrię sześciokrotną tak jak  $\text{Si}(111)$  i  $c\text{-Al}_2\text{O}_3$  jednakże tym razem warunki osadzania zostały tak dobrane, że mimo, że wzrost był prostopadły do powierzchni substratu to wskutek koalescencji/nukleacji wzdłuż stopni atomowych typowo występujących na powierzchni kryształu podłoża nastąpił wzrost nano-scian. Dr inż. Mieczysław Pietrzyk nie wyjaśnia czy podejmował próby osadzenia nanokolumn tak jak w przypadku wzrostu na  $\text{Si}(111)$  czy  $c\text{-Al}_2\text{O}_3$  i czy próbował osadzać QW na tym podłożu.

Podsumowując działalność naukową, za autorem autoreferatu, do najważniejszych osiągnięć dr inż. Mieczysława Pietrzyka wymienić trzeba siedem pozycji:

1. Wytworzenie wysokiej jakości nanokolumn  $\text{ZnMgO}$  metodą MBE na podłożach krzemowych (111) oraz szafirowych o różnych orientacjach i różnych polarnościach ( $c$ ,  $r$ ) bezpośrednio na czystej powierzchni z zastosowaniem warstwy buforowej oraz bez niej [H1, H2, H4, H5]
2. Wzrastanie studni kwantowych, wielostudni i supersieci  $\text{ZnMgO/ZnO/ZnMgO}$  w pojedynczym nanostupku  $\text{ZnMgO}$  [H2, H3, H4, H5, H8].
3. Oszacowanie szerokości granicznej bariery  $\text{ZnMgO}$ , dla której obserwujemy przekrywanie się funkcji falowych elektronów w studniach kwantowych i dla której może zachodzić tunelowanie ładunków [H2, H9].
4. Badania kwantowego rozmiarowego efektu Starka dla studni  $\text{ZnO/ZnMgO}$  wzrastających na podłożach, w których struktury wzrastają w kierunku polarnym [H5].
5. Badania ekscytonu skośnego (IX) w strukturach  $\text{ZnO/ZnMgO}$  wzrastających na podłożu  $a\text{-Al}_2\text{O}_3$  [H10].
6. Opis mechanizmu wzrostu nanostruktur (nanościan) bezpośrednio na czystych (bez katalizatora) podłożach  $4\text{H SiC}$  [H6].
7. Badania nanostruktur kwantowych  $\text{ZnO/ZnCdO}$  hodowane na podłożach krzemowych, bez katalizatora, w osadzanych w niskiej temperaturze [H7].

Osiągnięcia te należy uznać jako znaczne, odpowiadające wymaganiom stawianym przy ocenie dorobku na stopień doktora habilitowanego.

Konieczne jest też wskazanie, że samodzielny dorobek dr inż. Mieczysława Pietrzyka w okresie po otrzymaniu stopnia doktora jest znacznie większy niż przed otrzymaniem tego stopnia. W szczególności wskazać należy, że habilitant samodzielnie publikuje w znacznie bardziej prestiżowych czasopismach. Niewątpliwie świadczy to o rosnącej dojrzałości naukowej habilitanta.

### **3b. Ocena działalności naukowej niezaliczanej do cyklu publikacji uprawniających do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego**

Pozostały dorobek dr inż. Mieczysława Pietrzyka osiągnięty po uzyskaniu stopnia doktora należy ocenić wysoko. Habilitant angażował się w liczne prace badawcze prowadzone w laboratoriach IF PAN w zakresie wzrostu epitaksjalnego struktur tlenkowych. Prace te dotyczyły aktualnych tematów badawczych: domieszkowania typu-p warstw  $\text{ZnO}$ , własności złącz pn, relaksacji naprężeń w warstwach

ZnMgO o dużej zawartości magnezu i naprężeniach w nanokolumnach ZnCdO, wytwarzania supersieci ze związków kubicznych MgO/CdO. Z jego współpracą powstało dodatkowo 14 publikacji w liczących się recenzowanych pismach naukowych (Appl. Surf. Sci., J. Appl. Phys., Cryst. Growth Des. J. Phys. D: Appl. Phys., J. Lumin. Mater. Sci. Eng. B-Adv.). Część badań była wykonywana we współpracy z Politechniką Wrocławską.

### **3c. Wpływ dokonań naukowych na rozwój dziedziny**

Wpływ prac badawczych dr inż. Mieczysława Pietrzyka na rozwój nauki należy ocenić jako dobry. Jego praca z 2014r. (H1) o wzroście MBE nanokolumn bez katalizatora była pionierska w swojej dziedzinie i do dziś jest wymieniana jako ta która się mierzy z wciąż aktualnym wyzwaniem. Była odpowiedzią, na wtedy, nie rozwiązany problem badawczy. Jego wszystkie prace były cytowane w sumie 280 razy. Prace stanowiące cykl publikacji były cytowane 33 razy (bez autoctowań). Prace o wzroście nanokolumn bez katalizatora (H1) i o własnościach optycznych struktur zawierających sprzężone QW (H9) były cytowane najczęściej 7 i 8 razy.

### **3d. Uwagi dotyczące przedłożonej dokumentacji dorobku naukowego**

Analizując przedłożoną dokumentację opisującą dorobek naukowy dr inż. Mieczysława Pietrzyka konieczne jest zwrócenie uwagi na pewne niedociągnięcia.

W przedłożonym autoreferacie brakuje kilku podstawowych informacji jak np. daty ukończenia studiów i otrzymania tytułu magistra inżyniera, brakuje również nazwiska promotora rozprawy doktorskiej. Nazwisko promotora doktoratu odnaleźć można tylko na kopii dyplomu.

Autoreferat napisany jest językiem zbyt potocznym. Autor wymiennie używa nazw nanokolumna i nanodrut lub nanosłupek. Wskazane by było ujednolicenie nazewnictwa. Jamy kwantowe nazywa strukturami 2D a jamy kwantowe w nanosłupkach 3D. Nie jest to ściśle gdyż dla Qw obserwuje kwantyzację poziomów elektronowych i dziurowych a w nanokolumnach nie obserwuje zmiany struktury poziomów energetycznych w skutek ograniczenia przestrzennego. Tytuł osiągnięcia informuje o tym, że struktury były osadzane na „wybranych podłożach”. Tymczasem brakuje sumarycznego wymienienia używanych podłoży, np. tabeli. Ta informacja jest pożądana przez czytelnika autoreferatu już we wstępie do opisu osiągnięcia naukowego. O tym na jakich podłożach habilitant osadzał struktury Zn(MgCd)O czytelnik autoreferatu dowiaduje się dopiero z lektury poszczególnych podrozdziałów. Dla właściwej oceny osiągnięcia naukowego pomocne by było gdyby habilitant we wstępie szczegółowiej opisał główny cel swojej działalności i możliwości jakie miał by go osiągnąć. Wymienienie wyzwań i kompromisów: np. konieczność wyboru podłoża o silnym niedopasowaniu dla wymuszenia wzrostu 3D, ale też dla ograniczenia wpływu pola piezoelektrycznego, i możliwość, gamy dostępnych podłoży i ostatecznego wyboru: podłoża Si(111), SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (-c, -r, a-), i ZnO ułatwiło by zrozumienie decyzji, które musiał podjąć dla sukcesu badawczego. Pozwoliło by też na lepsze docenienie wysiłku, innowacyjności, i sukcesu habilitanta.

W całości przedłożonej dokumentacji brakuje szerszej informacji o aparaturze do epitaksji wykorzystywanej przez habilitanta. Reaktory MBE z możliwością osadzania ZnO nie są szeroko rozpowszechnione. Brakuje szerszej informacji o pracach nad epitaksją. Nie jest jasne dlaczego habilitant nie wspominał o pracy A. Wierzbicka, M. A. Pietrzyk et al. / Applied Surface Science 404 (2017) 28–33 jest jej drugim autorem co sugeruje znaczny wkład, a praca jest dowodem na przeprowadzone badania wstępne nad epitaksją. Ewentualne odwołania do innych publikacji nie wchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji byłyby pomocne w zrozumieniu ścieżki rozwoju naukowego habilitanta. Wszystkie publikacje H1-H10 prezentują wyniki charakteryzacji warstw i struktur dla pojedynczych próbek. Warunki osadzania ich są wymienione, jednakże żadna praca nie raportuje jak parametry próbek zmieniają się w funkcji np. prędkości osadzania, stosunków strumieni etc.. Krótki opis prac nad epitaksją dokumentujący drogę dojścia do prezentowanych w publikacjach struktur jest wskazany. Z uwagi na brak tego opisu twierdzenie że „wyniki przedstawione w zbiorze prac będących podstawą wniosku habilitacyjnego dotyczą optymalizacji wzrostu struktur kwantowych na bazie ZnO metodą epitaksji z wiązek molekularnych...” nie jest wypełni ścisły. Na czym polegała optymalizacja? Szerszy opis prac nad epitaksją umożliwił by lepiej argumentować za włączeniem pracy H6 o nanoscianach ZnMgO//SiC-4H do cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Nanosciany nie były ani nanosłupkami ani nie miały QW. Choć w opinii recenzenta wiążą się tematycznie z pozostałymi pracami.

Na koniec wskazane by było podsumowanie, które nie wymienia jakie przeprowadzono badania, ale co z nich wynikało, np. jakie podłoże habilitant uważa za najbardziej przyszłościowe dla ewentualnych zastosowań w przyrządach opto- i elektronicznych, i na koniec jak ocenia swój wkład w rozwój dziedziny.

#### **4. Ocena pozostałej działalności habilitanta**

Pozanaukową działalność dr inż. Mieczysława Pietrzyka wskazuje na dużą aktywność i należy ocenić wysoko. Habilitant był kierownikiem projektu naukowego Sonata przyznanego w drodze konkursu NCN, wielokrotnie wygłaszał seminaria na międzynarodowych konferencjach, odbył dwie wizyty naukowe w europejskich laboratoriach naukowych DESY/ HASYLAB synchrotron laboratory, (Hamburg, Niemcy), Laboratory for Electron Spectroscopy, University Notre-Dame de la Paix in Namur, (Belgia), był wielokrotnie recenzentem artykułów naukowych w uznanych czasopismach naukowych, był recenzentem projektu grantowego Narodowego Centrum Nauki, jest współautorem dwu patentów i jednego zgłoszenia patentowego, wykazywał aktywność w zakresie dydaktyki: był promotorem pomocniczym doktoranta i trójrotnie opiekunem praktykantów. Był też członkiem komitetu organizacyjnego międzynarodowej konferencji naukowej.

Wszystkie te dokonania wskazują jednoznacznie że dr inż. Mieczysław Pietrzyk zdobył doświadczenie predysponujące go do roli samodzielnego naukowca, kierownika zespołu i promotora prac doktorskich.

#### **5. Podsumowanie**

Całość dorobku naukowego dr inż. Mieczysława Pietrzyka oceniam jako dobry. Dr inż. Mieczysław Pietrzyk jest autorem wielu publikacji opublikowanych w dobrych i bardzo dobrych czasopismach naukowych, z których 10 stanowi cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych wymaganych ustawą<sup>1</sup>. Wykazał się istotną aktywnością realizowaną we współpracy z Politechniką Wrocławską (H7, H8, H10), Centro Tecnológico Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugalia (H9) skutkującą powstaniem wspólnych publikacji. Odbył też dwie zagraniczne podróże naukowe. Wykazał się zatem istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej instytucji naukowej<sup>1</sup> w stopniu wystarczającym.

#### **6. Wniosek końcowy**

Wnioskuje o nadanie dr inż. Mieczysławowi Pietrzykowi tytułu doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

<sup>1</sup> Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, art. 219.1.2b.